

EXPERIÊNCIA DA ELETROBRÁS ELETRONORTE NA MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DA UHE SAMUEL.

Davi Carvalho Moreira ¹Lidomar Becker

²

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar os desafios e as soluções encontradas pela Eletrobrás Eletronorte na modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da Usina Hidrelétrica de Samuel nas fases de projeto, inspeção e comissionamento. Relata a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica, garantam a interoperabilidade dos sistemas e favorecem a uma convivência com diferentes gerações tecnológicas. São apresentadas as vantagens obtidas com a modernização de cada sistema e aborda os fatores que motivaram a realização deste projeto. A experiência de Eletrobrás Eletronorte mostrou que a modernização dos sistemas de proteção e controle, mesmo com uma convivência com diferentes gerações tecnológicas é uma solução vantajosa financeiramente e não causam transtornos à operação e manutenção, desde que sejam bem projetadas.

Palavras-chave: Modernização, Proteção, Controle, Hidrelétrica, Experiência.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva et al (2011) sabe-se que em torno de 72% da capacidade de geração de energia elétrica instalada do Brasil corresponde a centrais hidrelétricas. Geralmente em empreendimentos hidrelétricos considera-se uma vida útil de 50 anos, seus equipamentos e sistemas mecânicos tendem a apresentar problemas operacionais e de manutenção a partir de 30 anos de operação em média e seus equipamentos eletrônicos e digitais, podem

apresentar vida útil menor devido à obsolescência que a evolução tecnológica lhes imprime.

A Eletrobrás/Eletronorte (ELB/ELN) possui a concessão da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel), construída na década de 80, com 216 MW de potência nominal que está situada ao rio Jamari, da bacia hidrográfica do rio Amazonas e sub-bacia do rio Madeira. O projeto da UHE Samuel é da década de 1970, tendo o início operacional das unidades geradoras no ano de 1989 e foi conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2012. Neste mesmo ano a ELB/ELN definiu que haveria a modernização dos sistemas de proteção e controle desta usina devido à necessidade de adequação aos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema (ONS), inexistência de sobressalentes para manutenção corretiva, encerramento do período de garantia, necessidade de realizar operação remota pela UHE Tucuruí e redução dos custos de operação e manutenção.

De acordo com Ferreira (2007, p.11) o Sistema de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS) é constituído por um conjunto de equipamentos, *hardware* e *software*, que está conectado ao Sistema de Energia Elétrica (SEE) por meio de equipamentos de medição, proteção, controle e telecomunicações, possibilitando a supervisão e o controle a distância. Conforme informado por Lellys et al (2015), atualmente as arquiteturas de SPCS implementadas pelas empresas de energia elétrica no Brasil são na maioria, baseadas na Norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61850 e baseadas nas arquiteturas tradicionais em anel, estrela ou na combinação destas duas.

¹ Centro Universitário SOCIESC – UNISOCIESC - E-mail: davimoreira@eln.gov.br

² Centro Universitário SOCIESC – UNISOCIESC - E-mail: lidomar.becker@sociesc.org.br

Os desafios encontrados para a realização deste projeto estão relacionados aos prazos curtos estabelecidos pelo ONS após a interligação da usina com o SIN e, principalmente, motivada pela busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica, principalmente relacionada à dependência de protocolos e padrões proprietários e, ainda garantam a interoperabilidade dos sistemas.

Destacam-se também as dificuldades encontradas devido à complexidade do empreendimento, sendo que não foi apenas a instalação de novos equipamentos, e sim, a integração dos sistemas de proteção e controle digitais com vários sistemas ainda eletromecânicos e eletrônicos.

Para haver a integração destes sistemas, houve diversas adequações realizadas nos painéis de comando dos sistemas de excitação, regulação de tensão, regulação de velocidade e sincronismo, para possibilitar a supervisão e comandos remotos através de Controlador Lógico Programável (CLP), como por exemplo: (i) aumento/diminuição de potência; (ii) aumento/diminuição de tensão; (iii) partida e parada da unidade e (iv) permissão para sincronismo. Serão descritos neste trabalho as fases de inspeção em fábrica e comissionamento, onde houve diversas modificações no projeto lógico da Unidade de Controle Digital (UCD) e na Unidade de Proteção Digital (UPD), para adequar às necessidades da operação da local. A experiência de ELB/ELN em processos de modernização de sistemas de proteção e controle permitiu desenvolver e executar as atividades deste projeto, alcançando os resultados com eficácia.

2 ETAPA DE PROJETO

Segundo Pereira Jr. et al (2015), com o surgimento da tecnologia digital, veio a possibilidade dos sistemas de proteção, controle, supervisão e oscilografia se transformarem em equipamentos inteligentes chamado de IED (*Intelligent Electronic Devices*). Já é uma realidade na rotina dos engenheiros de proteção e automação a utilização da tecnologia digital baseada na Norma IEC 61850 para a utilização de IED de fabricantes distintos numa mesma rede.

Neste contexto que a ELB/ELN elaborou a especificação técnica mantendo as diretrizes do ONS e inclusões de melhorias relatadas nas experiências anteriores [Modernização do SPCS da UHE (Usina Hidrelétrica) Curuá-Una, UHE Coaracy Nunes e UHE Tucuruí]. A ELB/ELN optou por elaborar uma única especificação contendo a contratação dos serviços de projeto, fornecimento de equipamentos e serviços de montagens. Destaca-se que esta alternativa de especificação/contratação se mostrou vantajosa em relação às alternativas que optam por dividir a especificação/contratação. A Figura 1 apresenta o sistema de proteção anterior. Antes da modernização as proteções, do gerador, do transformador elevador, do transformador de excitação e da linha curta, eram compostas de equipamentos com tecnologias convencionais eletromecânicas e eletrônicas de diversos fabricantes, onde não havia redundâncias das funções.

Como benefício da implantação do projeto obteve-se o aumento da confiabilidade do sistema de proteção, devido à redundância de funções de proteção através de apenas dois relés e também o fato de propor a utilização de um único modelo de relé digital que pode ser intercambiável entre unidades geradoras ou entre funções primária e secundária, conforme se observa na Figura 2.

Os relés de proteção que foram instalados são microprocessados, possuem lógica programável, comunicação por diversos protocolos e se encontram no estado atual da arte de tecnologia digital. De uma forma inovadora optou-se pela utilização, em usina hidrelétrica, da Norma IEC 61850 para a rede de proteção, sem que haja nenhum equipamento intermediário entre o relé digital e a estação de operação, com exceção dos *switches* para realizar a rede de comunicação em anel, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 1 – Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Antes da Modernização)

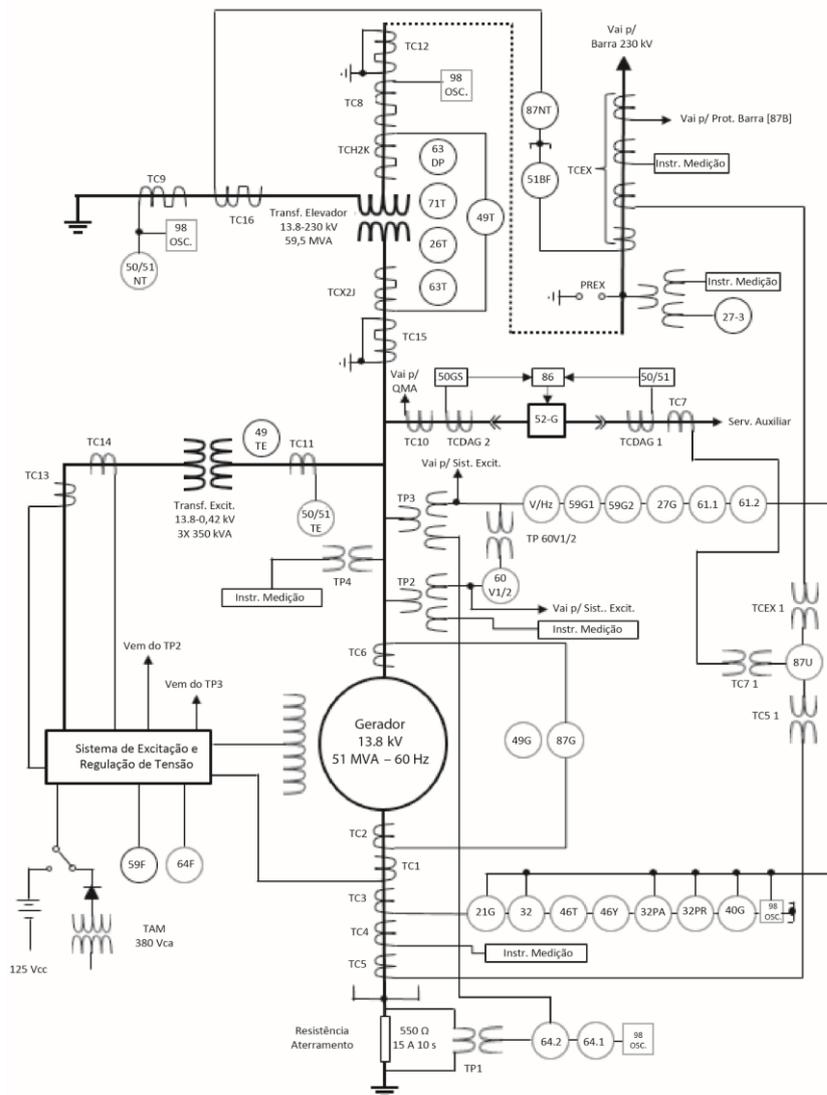
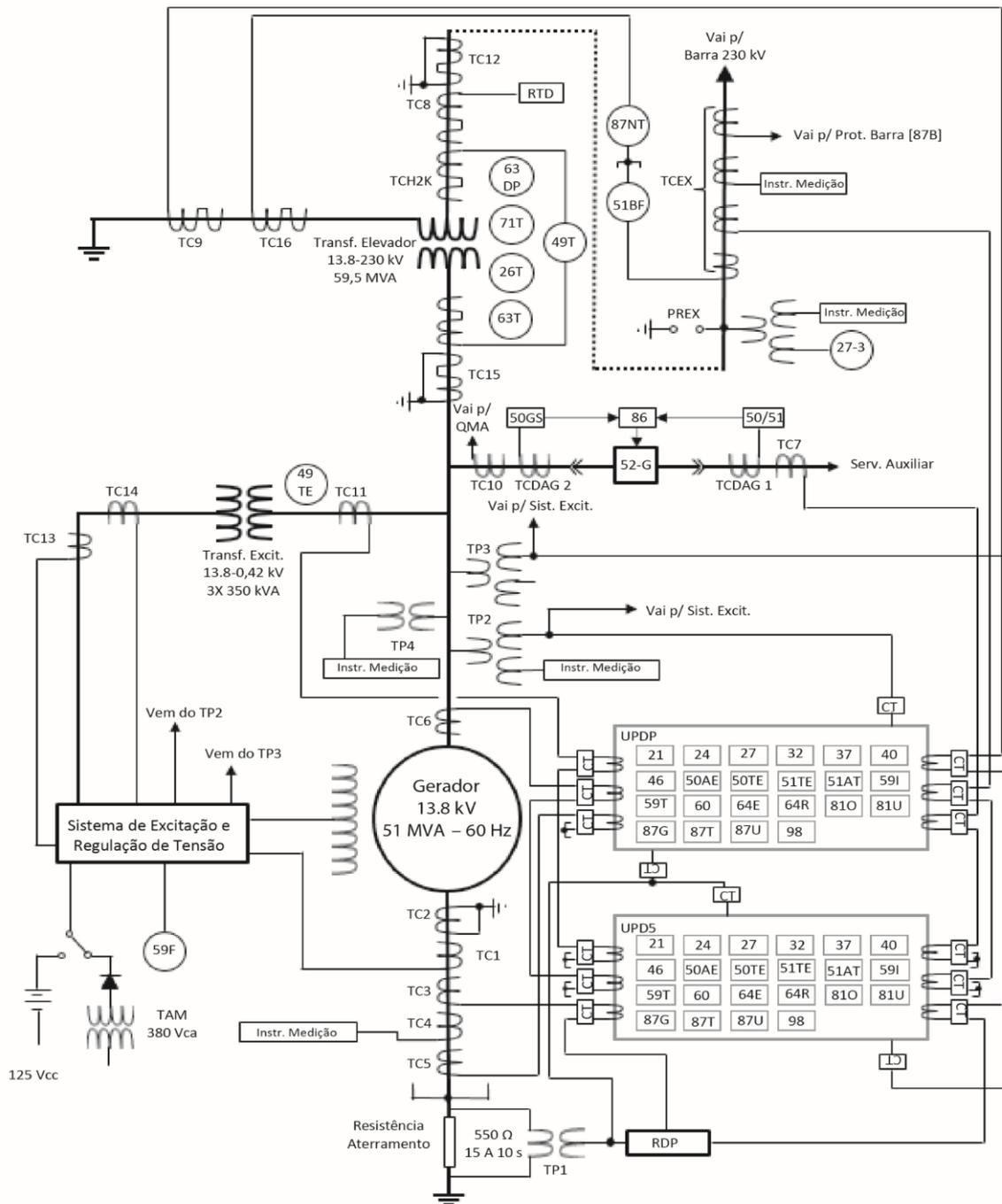


Figura 2 – Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Após a Modernização)



Fonte: Produção do próprio autor

ARTIGOS

09

Fonte: Produção do próprio autor

ARTIGOS

No sistema de controle, antes da modernização, havia apenas uma Unidade Terminal Remota (UTR) que imprimia os eventos da respectiva unidade geradora e um CLP que não dispunha de canal de comunicação e realizava basicamente a partida da unidade geradora pelo centro de comando da usina.

Com a modernização dos controladores lógicos programáveis e a implantação de sistema supervisório, também no estado atual da arte de tecnologia digital, foi possível obter dados de supervisão controle e proteção, níveis de alarmes diferenciados, interfaces gráficas de alta definição, imagens e comandos customizados conforme necessidade da ELB/ELN, atualização da lógica de partida e parada, implementação de várias outras lógicas inclusive controle conjunto de tensão e de potência, uma grande capacidade de armazenamento de dados históricos para análise pós-operação e consulta ao banco de dados históricos via *Internet* e *Intranet*, facilidade na reposição dos equipamentos e ainda o controle remoto da UHE Samuel através do Centro de Operação da Geração (COG) localizado na UHE Tucuruí.

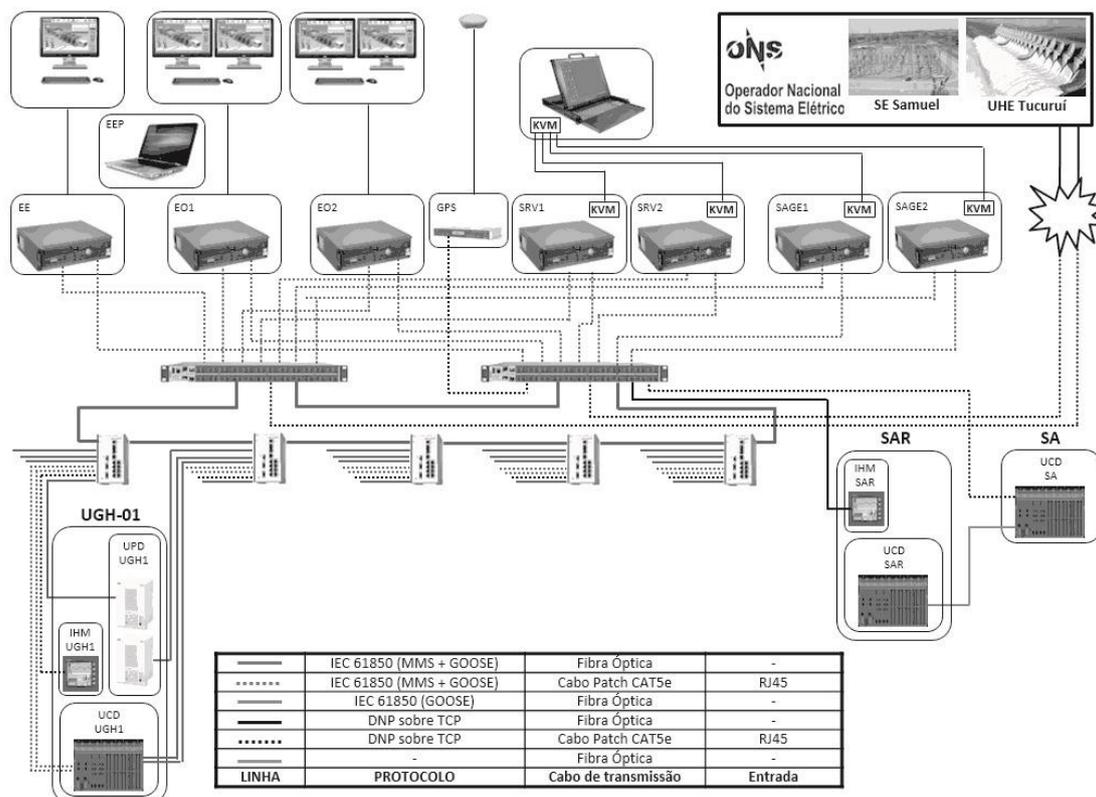
Na fase de desenvolvimento de projeto, para as definições dos equipamentos e arquitetura de rede, buscou-se uma solução de engenharia de forma a garantir a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle tendo em vista uma futura modernização dos sistemas de regulação de velocidade e tensão.

Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi na definição da arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle. Pela experiência da ELB/ELN, equipamentos (*front-end, gateway, Redbox*) que intermedeiam a IED com o sistema supervisório e protocolos proprietários, têm-se grandes chances de causar dependência tecnológica. Verifica-se na Figura 3, uma rede de *switches* em anel simples e cada IED (proteção e controle) ligada em dois *switches*.

Figura 3 – Arquitetura de Rede

Fonte: Produção do próprio autor

ARTIGOS



Fonte: Produção do próprio autor

Para a rede de proteção foi utilizado a Norma IEC 61850 com os protocolos *Manufacturing Message Specification* (MMS) para comunicação com o sistema supervisor e o protocolo *Generic Object Oriented Substation Event* (GOOSE) para comunicação com o oscilógrafo. Ressalta-se que padronização do modelo de dados dos atributos e funções do relé digital (REG670 – ABB) foi baseada na Norma IEC 61850 com os seus agrupamentos em dispositivo lógico, nó lógico e objeto de dados.

Para a rede de controle foi utilizado o protocolo *Distributed Network Protocol Version 3.0* (DNP 3.0) para comunicação com o sistema supervisor, devido o CLP fornecido (*Série Hadron XTORM – Altus*) estar em fase de validação da Norma IEC 61850.

3 ETAPA DE INSPEÇÃO EM FÁBRICA

Nas inspeções em fábrica dos sistemas de proteção e controle, o padrão da ELB/ELN é realizar testes elétricos, testes de subsistemas e testes de sistemas.

Nos testes elétricos de todos os painéis e placas de montagem foram realizados: (i) inspeção visual e dimensional; (ii) ensaio de pintura (espessura e aderência); (iii) verificação das plaquetas, disposição dos componentes e placa de identificação; (iv) verificação das anilhas; (v) ensaio de continuidade e fiação; (vi) funcionamento dos equipamentos. Os ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento foram realizados apenas nos painéis fornecidos, pois para as placas de montagem a instalação completa com todas as fiações nas canaletas e borneiras ocorreu no comissionamento. Nesta etapa da inspeção houve retrabalho, por parte do fornecedor, relacionado à identificação de anilhas e fiação invertida, sendo normalizadas todas as não conformidades durante o período de inspeção. Uma das principais preocupações da ELB/ELN foram as verificações dos desenhos dimensionais das placas de montagem, para que não houvesse modificações quando da instalação nos painéis existentes.

Os testes de subsistemas foram realizados em todas as UCD e UPD das unidades geradoras e na UCD do

serviço auxiliar, compreendendo: (i) testes de subida de pontos, incluindo diagnósticos e falhas; (ii) testes de comando; (iii) testes de lógicas; (iv) verificação de comunicação, inicialização e energização; (v) ensaio nos circuitos de corrente e tensão. Nesta etapa da inspeção ganhou-se tempo pelo fato dos testes (i), (ii) e (iii) terem sido realizados por amostragem, ou seja, foi escolhido aleatoriamente 25% dos sinais digitais e analógicos de cada subsistema para realizar os testes. A ELB/ELN concordou com os testes por amostragem, devido ter sido realizado em fábrica antes da inspeção, em uma UCD de unidade geradora e na UCD do serviço auxiliar, a verificação de 100% dos sinais digitais e analógicos, inclusive verificando sua respectiva sinalização no sistema supervisor e simulação de todos os comandos e lógicas dos sistemas de controle.

Figura 4 – (a) Painel do Controlador Lógico Programável (antigo)



Fonte: Produção do próprio autor

ARTIGOS

Figura 4 – (b) Painel da Unidade de Controle Digital (novo)



Fonte: Produção do próprio autor

O acompanhamento da confecção de telas do sistema supervisor, da programação da lógica da UCD e UPD e a realização dos testes anteriores à inspeção em fábrica são atividades que aconselhamos, pois facilitou e minimizou os trabalhos, sem perda de qualidade, na fase de inspeção em fábrica e principalmente agregou conhecimento teórico e prático dos equipamentos para a equipe da ELB/ELN.

As últimas etapas da inspeção em fábrica foram para a realização de testes de sistemas, também chamado de Certificação Funcional Integrada (CFI). Estruturou-se em fábrica uma rede de equipamentos, semelhante à arquitetura da Figura 3, onde foram conectadas todas as UPDs, UCDs, IHMs, um GPS, duas estações de operação, dois servidores de banco de dados e dois servidores SAGE. As Figuras de 4a e 4b apresentam o painel antigo e o novo da unidade de controle, respectivamente. As Figuras 5a e 5b apresentam o painel antigo e o novo dos relés de proteção.

Nesta etapa realizam-se os seguintes testes: (i) teste de sincronismo; (ii) teste de redundância; (iii) teste de comunicação com centro remoto; (iv) teste de avalanche. Esta etapa procurou analisar os recursos fornecidos e se a arquitetura proposta em relação aos protocolos de comunicação atende, na sua totalidade, aos requisitos técnicos funcionais exigidos pela ELB/ELN. Nesta etapa, as dificuldades encontradas foram relacionadas a ajustes nas bases de dados para o perfeito funcionamento do sistema.

Figura 5 – (a) Painel dos Relés Proteção (antigo)



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 5 – (b) Painel da Unidade de Proteção Digital (novo)



Fonte: Produção do próprio autor

4 INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS

Fica evidente que um estudo minucioso se faz necessário desde o início do projeto de modernização a fim de identificar a interdependência dos equipamentos e sistemas, permitindo que os benefícios da modernização reflitam as prioridades da usina (SILVA et al, 2011).

A solução implementada pela ELB/ELN para integração entre os sistemas com tecnologia convencional e tecnologia digital, baseou-se na centralização das informações nos sistemas de proteção e controle de sua respectiva unidade geradora.

Foram previstos equipamentos e arquitetura de rede, para obter uma solução de engenharia que garanta a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle, tendo em vista que

futuramente poderão ser modernizados outros sistemas.

Como exemplo de integração entre sistemas, apresenta-se o caso do sistema de excitação e

regulação de tensão.

4.1 SISTEMAS DE EXCITAÇÃO E REGULAÇÃO DE TENSÃO

Para a integração do sistema de regulação de tensão no sistema de controle, houve a necessidade do envio de informações analógicas (tensão, corrente e temperatura) e digitais (estado de disjuntores e proteções) através de cabos de controle. Para as grandezas digitais, utilizaram-se saídas reservas dos relés auxiliares ou foram acrescentados relés multiplicadores de contatos para envio das informações ao CLP. Para as grandezas analógicas, foram utilizados os sinais dos medidores pertencentes ao painel local da respectiva unidade geradora, fazendo-se uma ligação em série com CLP para manter em funcionamento os medidores analógicos. Destaca-se que foi possível realizar a ligação dessa forma, pelo fato de os painéis estarem fisicamente próximos.

Neste projeto, além de toda a supervisão dos sistemas de excitação e regulação de tensão, o sistema supervisor também tem a possibilidade de executar comandos de aumento/diminuição de tensão e abertura/ fechamento da contatora de excitação.

A solução implementada foi inserir no relé auxiliar que efetua o comando do equipamento uma saída digital do CLP. Esta adequação prevista no projeto foi simples, eficaz e não onerou custos ao projeto (Figuras 6 e 7).

5 ETAPA DE COMISSIONAMENTO

Com base no padrão de comissionamento da ELB/ELN, o projeto de comissionamento consistiu em: (i) desmontagem e montagem de painéis; (ii) lançamento de cabos de força, controle e

comunicação; (iii) instalação dos equipamentos de supervisão, controle e proteção; (iv) ensaio funcional nos painéis e comunicação; (vi) ensaio de atuação das proteções; (vii) ensaio de subida de eventos com sincronismo de tempo; (viii) adequação das bases de dados para ONS, SE Samuel e UHE Tucuruí (Comando Remoto).

Figura 6 – Ajuste de Tensão da UGH

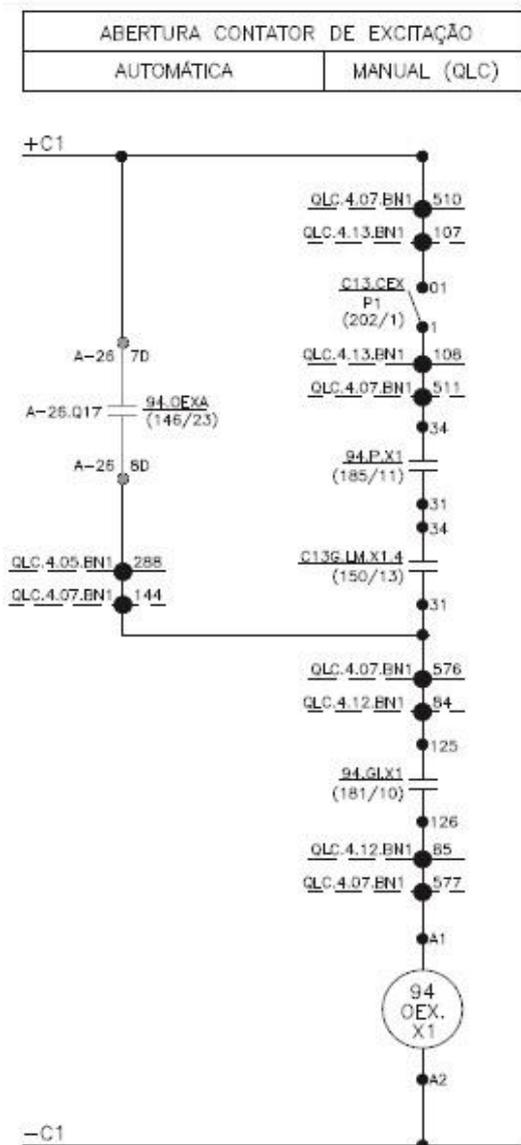
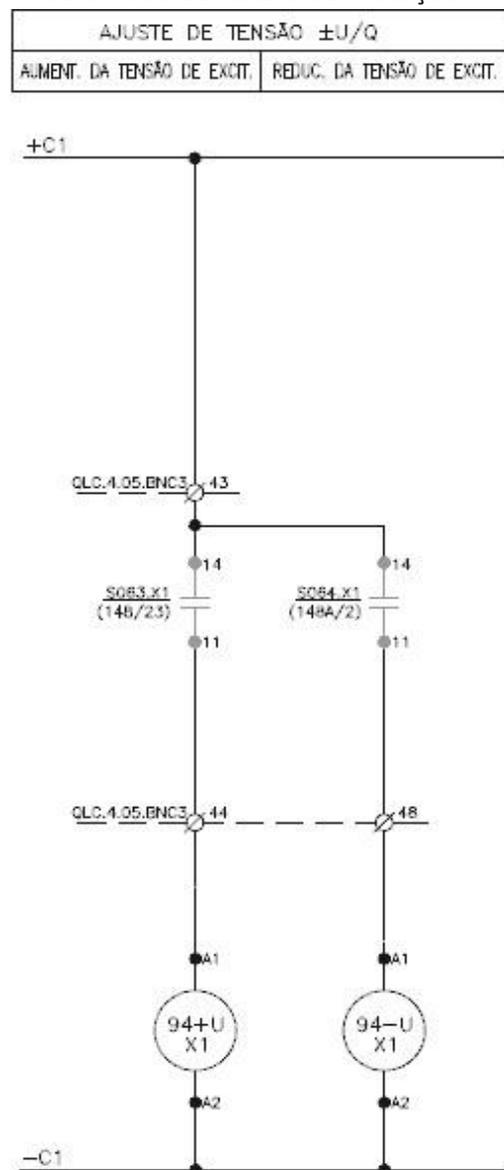


Figura 7 – Abertura da Contatora de Excitação



Fonte: Desenho SAM-10-15204, 2014

ARTIGOS

Os desafios importantes deste projeto foram a minimização do tempo de indisponibilidade da unidade geradora, a compatibilização dos cronogramas com SE Samuel, devido a subestação também estar sendo modernizada e as adequações realizadas nos painéis para conviver com diferentes gerações tecnológicas e ainda possibilitar toda a supervisão e comandos remotos necessários para o telecomando da usina.

Para a minimização do tempo de indisponibilidade, foram realizados diversos serviços com a unidade em operação. Destaca-se que os serviços executados não causaram desligamento e os riscos

foram minimizados com um planejamento e análise dos desenhos funcionais adequadas. Ressalta-se que os sistemas de controle das unidades geradoras já estavam inoperantes, ou seja, a usina estava operando em modo local e a desativação do sistema de controle não causava risco de desligamento. Antes de cada parada de máquina, todos os equipamentos do sistema de controle foram retirados dos seus respectivos painéis, foi realizado o encaminhamento de cabos de comunicação e ainda foram deixadas próximo ao local todas as placas de montagens e os novos painéis. A instalação dos equipamentos do sistema de supervisão, na sala de operação, foi realizada sem intervenção nas unidades geradoras e no início da fase de comissionamento, pois o próprio sistema supervisorio foi utilizado nesta fase.

O tempo médio de indisponibilidade das unidades geradoras foi de 30 (trinta) dias, destaca-se que neste período houve aproveitamento para realização das manutenções anuais e quinquenais, conforme Programa de Manutenção Planejada (PMP) de cada unidade. Nos equipamentos proteção, a intervenção iniciou-se apenas quando da máquina parada e as condições de segurança satisfeitas. Alguns equipamentos de campo e cabos derivados de sensores foram reutilizados sob fiscalização dos funcionários da ELB/ELN. Outra dificuldade encontrada na fase do comissionamento foi a compatibilização dos cronogramas que envolveram o desligamento da função geração por parte da usina e do *bay* de entrada da subestação. Como os serviços foram executados por empresas diferentes e contratadas com prazos distintos de entrega de equipamentos e, levando-se em conta que os desligamentos de uma instalação afetam a disponibilidade da outra instalação e que a gestão de cada instalação é realizada por diferentes áreas dentro da ELB/ELN, diversas reuniões de planejamento para compatibilizar as datas de início e fim de serviço foram realizadas. A área de transmissão da ELB/ELN optou por realizar os serviços em *bays* de entrada da SE Samuel quando da indisponibilidade de sua respectiva unidade geradora, mesmo tendo que adequar o seu cronograma de fornecimento com a contratada.

Outro desafio superado nesta fase de comissionamento foram os testes de cada adequação realizada nos painéis de comando dos sistemas de excitação, regulação de tensão, regulação de velocidade e sincronismo para que houvesse uma integração entre os sistemas eletromecânicos e eletrônicos com os sistemas digitais. Cabe ressaltar a importância da fase de projeto, para análise e alterações nos desenhos funcionais a fim de minimizar o tempo gasto no comissionamento em que a unidade geradora está indisponível.

O sistema de proteção e controle modernizado está em fase de garantia contratual e sendo avaliado pela equipe da ELB/ELN. Foi estabelecido um período de aproximadamente 20 (vinte) dias para estabilização dos sistemas de proteção e controle. Para a realização deste trabalho utilizou-se de pesquisa exploratória e descritiva a fim de proporcionar maior familiaridade e tornar mais explícito os resultados advindos das atividades de *retrofit* dos sistemas de proteção e controle da UHE Samuel.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou de forma abrangente os desafios encontrados na modernização dos sistemas de proteção e controle da usina hidrelétrica de Samuel, desde o projeto até o comissionamento.

A UHE Samuel é a quarta usina hidrelétrica da ELB/ELN com os sistemas de proteção e controle modernizados. A experiência adquirida em projetos anteriores e

ainda em manutenção possibilitou estabelecer uma configuração de sistemas que não causam dependência tecnológica e garantirá a interoperabilidade com futuros sistemas que serão modernizados.

Os adiamentos dos desligamentos das unidades geradoras foram motivados basicamente pelas condições energéticas desfavoráveis do SIN, devido a UHE Samuel ser uma importante fonte de geração para o estado e Rondônia.

A integração das equipes de projeto e manutenção das áreas de geração e transmissão foi fundamental na fase do comissionamento dos sistemas de proteção, ensaios de comando de equipamentos e configuração das bases de dados.

A convivência com diferentes gerações tecnológicas se mostrou uma solução vantajosa financeiramente e não causam transtornos à operação e manutenção, desde que sejam bem projetadas.

Os gastos totais (projeto, equipamento e serviço) com a modernização dos sistemas de proteção e controle ficaram em torno de 4 milhões de reais. Apesar dos consideráveis gastos iniciais, as vantagens da modernização e o retorno dos investimentos serão observados em médio e curto prazo.

Sendo o processo de modernização um trabalho multidisciplinar e ainda havendo interação com diversos órgãos (internos e externos à ELB/ELN), conseguiu-se desenvolver e executar as diversas fases deste complexo empreendimento com bastante êxito.

REFERÊNCIAS

DE OLIVEIRA, U. R.; RODRIGUEZ Y RODRIGUEZ, M. V. **Empowerment como ferramenta de gestão de pessoas para a redução dos custos e aumento da eficiência operacional: Um estudo de caso em uma instituição financeira.** In: XXIV ENEGEP, Florianópolis, 2004.

ELETROBRÁS ELETRONORTE. **Especificação Técnica SAM-E-CAF-400-1001-ET: Sistema de Proteção, Controle e Supervisão – SPCS.** Brasília, 2013. 69 p.

FERREIRA, D. G. **Visão Integrada da Automação da Operação e Manutenção de Sistemas Elétricos de Potência.** 2007. 118 f. Dissertação (Engenharia de Potência) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

LELLYS, D., CARMO, U. A., PAULINO, M. E. C., LIMA, J. C.M., SILVEIRA, G. **Perspectiva de Utilização de Novas Arquiteturas de Sistemas Digitais de Supervisão Controle e Automação em Subestações Totalmente Digitalizadas.** In: XI SIMPASE, Campinas, 2015.

PEREIRA JR, P. S., DE CARVALHO, M. R., RAMOS, R., PEREIRA, P. S., MARTINS, C. M., LOURENÇO, G. E. **A Evolução dos Esquemas de Proteção com a Adoção da Norma IEC 61850 e o Advento da Interoperabilidade.** In: XI SIMPASE, Campinas, 2015.

SILVA, P. C. O., PADOAN JR, A. C., UEMORI, M., RIGOLIN, R. C., ALMEIDA K., VASCONCELOS, R. **Fundamentos para a Modernização Completa de Centrais Hidrelétricas.** In: XXI SNPTEE, Florianópolis, 2011.

EXPERIENCE OF ELETROBRÁS ELETRONORTE IN MODERNIZATION OF PROTECTION SYSTEMS AND CONTROL THE UHE SAMUEL

Abstract: *This work aims to present the challenges and solutions found by Eletrobrás Eletronorte in the modernization of Power Plant Protection and Control Systems of Samuel in the design phase, inspection and commissioning. Tells the search for engineering solutions that do not cause technological dependence, ensure the interoperability of systems and favor coexistence with different technological generations. The advantages obtained with the modernization of each system and addresses the factors that motivated this project are presented. The experience of Eletrobrás Eletronorte showed that the modernization of protection and control systems, even with a coexistence with different technological generations is a financially advantageous solution and do not cause inconvenience to operation and maintenance, provided they are well designed.*

Keywords: *Modernization, protection, control, hydroelectric, Experience.*